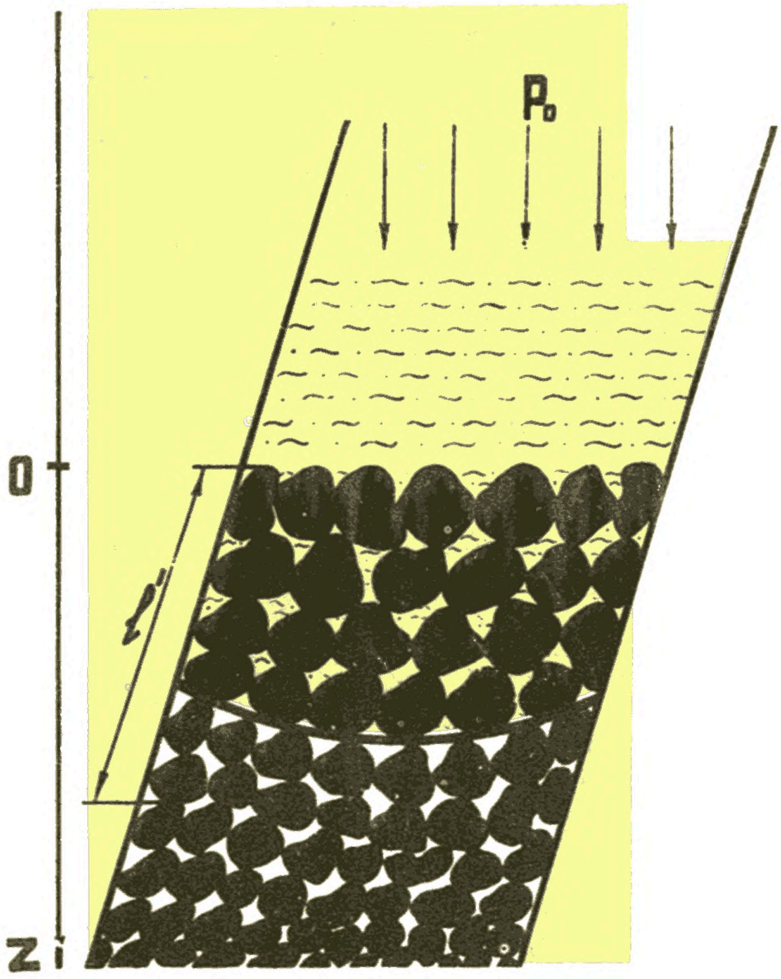


Методические рекомендации по прогнозу прорывов песчано-глинистых пород в горные выработки

Белгород 1984

gost.e-ecolog.ru

МИНИСТЕРСТВО ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ СССР
Управление горного производства

Всесоюзный научно-исследовательский, конструкторско-технологический и проектно-изыскательский институт по осушению месторождений полезных ископаемых, специальным горным работам, рудничной геологии и маркшейдерскому делу
В И О Г Е М

Утверждаю:
Директор института
И.Ф.Оксанич
27 декабря 1984 г.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОГНОЗУ ПРОРЫВОВ ПЕСЧАНО-ГЛИНИСТЫХ ПОРОД В ГОРНЫЕ ВЫРАБОТКИ

Белгород 1984

УДК 622.847

Методические рекомендации предназначены для прогноза прорывов увлажненных песчано-глинистых пород в горные выработки через зону обрушения при разработке рудных месторождений системами с обрушением руды и вмещающих пород. Расчетные зависимости получены на основе обобщенного (на случай фильтрации неньютоновских жидкостей) закона Дарси. Даны общие рекомендации по защите горных работ от прорывов песчано-глинистых пород. Приведены конкретные примеры прогноза прорывов. Рекомендации могут быть использованы работниками НИИ, проектных и производственных организаций. В проведении лабораторных исследований и выполнении расчетов принимали участие Гуркиев Н.А., Усатик А.Т., Кустова О.Е., Петрова О.Г.

Работа составлена к.г.-м.н. Ю.С.Осипенко и инж. О.И.Писаренным и утверждена 26 декабря 1984 г. секцией НТС в качестве методических рекомендаций.

© Всесоюзный научно-исследовательский, конструкторско-технологический и проектно-изыскательский институт по осушению месторождений полезных ископаемых, специальным горным работам, рудничной геологии и маркшейдерскому делу (ВИОГЕМ), 1984.

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

При подземной разработке месторождений системами с обрушением руды и вмещающих пород в зону обрушения попадают песчано-глинистые породы осадочного чехла, коры выветривания кристаллических пород, а также заполнителя карстовых пустот. В ряде случаев в зоне влияния горных работ оказываются шламохранилища, хвостохранилища, золоотвалы, отвалы песчано-глинистых пород. В зоне обрушения песчано-глинистые породы претерпевают значительные изменения, которые происходят в результате нарушения структурных связей, увеличения напряженного состояния, дополнительного увлажнения за счет вод атмосферных осадков, поверхностного и подземного стока.

В результате неправильной оценки или неполного учета характера изменения физико-механических свойств и напряженного состояния песчано-глинистых пород в зоне обрушения известны случаи принятия решений, не обеспечивающих безопасные условия ведения горных работ, что приводит к прорывам этих пород в горные выработки. Прорывы глин в горные выработки происходили как на угольных (Подмосковном, Прокопьевско-Киселевском, Карагандинском), так и на железорудных (Кривбасс, Горная Шория, Урал, Рудный Алтай) месторождениях.

При прорывах песчано-глинистых пород в горные выработки отмечается очень высокое давление прорвавшейся песчано-глинистой массы. Катастрофические последствия имели прорывы песчано-глинистых пород на шах. "Коммунар" рудника им. Дзержинского (1967 г.) и шах. "Комсомольская" рудника им. Р. Люксембург (1963, 1981, 1982 гг.) г. Кривой Рог, на шах. "Капитальная" Богословского рудника (1978 г.) и шах. "Южная" Гороблагодатского рудника (1979 г.) на Урале.

Прорывы песчано-глинистых пород в горные выработки при разработке полезного ископаемого подземным способом представляют опасное горно-геологическое явление, однако модель его формирования мало изучена. Отсутствуют также надежные методы прогнозирования прорывов и недостаточно полно разработаны мероприятия, направленные на их предотвращение.

Накопленный в институте ВИОГЕМ опыт по изучению прорывов песчано-глинистых пород в горные выработки позволил разработать новую модель возникновения этого горно-геологического явления, суть которой заключается в представлении песчано-глинистых пород как вязко-пластичного тела, что дает возможность прогнозировать прорывы и разрабатывать мероприятия, направленные на их предотвращение.

I. МЕХАНИЗМ ПРОРЫВОВ ПЕСЧАНО-ГЛИНИСТЫХ ПОРОД В ГОРНЫЕ ВЫРАБОТКИ

Под прорывами понимается горно-геологическое явление, сопровождающееся внезапным, концентрированным поступлением песчано-глинистых пород через зону обрушения в действующие горные выработки с интенсивностью, создающей угрозу безопасным условиям разработки полезного ископаемого или нарушающей технологию горнорудного производства.

Анализ горно-геологических условий подземной разработки железорудных месторождений, а также имевших место прорывов песчано-глинистых пород на железорудных и угольных месторождениях [2, 3, 5-8] позволяет выделить факторы, влияющие на возникновение прорывов, которые можно разделить на две группы: естественные и технологические. К естественным факторам относятся: мощность песчано-глинистых отложений в разрезе месторождений, физико-механические свойства песчано-глинистых и скальных пород, тектоническая нарушенность массива скальных пород, гидрогеологические условия месторождений, глубина залегания рудного тела от поверхности, угол падения, форма и мощность рудного тела. К технологическим факторам относятся: система разработки месторождения, особенности обрушения пород кровли и висячего бока, наличие дополнительных источников обводнения песчано-глинистых пород в зоне обрушения, наличие дополнительных источников поступления песчано-глинистых пород в зону обрушения, системы осушения месторождений, величины давления на песчано-глинистые породы, находящиеся в выработанном пространстве, со стороны обрушающихся вмещающих горных пород.

При разработке пологого ископаемого подземным способом системами с обрушением руды и вмещающих пород происходит подработка песчано-глинистых пород и поступление последних в зону обрушения. В зоне обрушения песчано-глинистые породы в одних случаях располагаются на обрушенных скальных породах, в других - приходят в непосредственный контакт с очистными горными выработками.

Обломки скальных пород в зоне обрушения образуют породную "подушку", исключающую непосредственный контакт песчано-глинистых пород с горными выработками. Под действием статического давления песчано-глинистые породы начинают продавливаться через породную "подушку". Песчано-глинистые и обрушенные скальные породы образуют чрезвычайно сложную систему, которая может быть сравнительно просто описана при статистическом осреднении по множеству элементов неоднородности. Использование метода Эйлера позволяет вместо

песчано-глинистых и обрушенных скальных пород рассматривать некоторый континуум, представляющий собой неподвижное пространство, заполненное сплошной средой. Такой подход дает возможность в самом общем виде представить механизм движения рыхлых пород в пористой среде (обрушенных скальных пород) как процесс фильтрации неньютоновской жидкости.

При условии отсутствия породной "подушки" в зоне обрушения песчано-глинистые породы будут находиться в непосредственном контакте с горными выработками, и движение их в этом случае будет описываться законами гидравлики неньютоновских жидкостей. Деформационное поведение песчано-глинистых пород как тела Бингама подтверждается лабораторными экспериментами на образцах, отобранных из осадочной толщи пород, покрывающих железорудные месторождения. Образцы горных пород были отобраны из песчано-глинистых пород, развитых в разрезе месторождений Первомайского и им. Р. Люксембург (Криворожский бассейн), Гороблагодатского и Песчанского (Урал), Соколовского (Казахстан).

Тело Бингама представляет собой идеализированное пластичное тело, сопротивляющееся пластичной деформации не только за счет своего предела текучести $\tau_п$, как в случае упруго-пластичного тела, но также и за счет вязкости, называемой пластической вязкостью $\mu_{пл}$. Уравнение Шведова - Бингама при $\tau_п \to 0$ описывает деформацию вязкой ньютоновской жидкости, а при $\mu_{пл} \to 0$ - упруго-пластичного тела.

Движение песчано-глинистых пород в зоне обрушения можно представить следующим образом.

Схема I (рис. I.I,а). Рыхлые породы характеризуются низкой влажностью, высокими значениями предельного напряжения сдвига. В этом случае при достаточной мощности породной "подушки" песчано-глинистые породы не достигнут горных выработок, контур их продвижения займет некоторое промежуточное положение, т.е. прорывы не произойдут. Необходимо учитывать, что процесс фильтрации развивается во времени, поэтому в дальнейшем любое утверждение о возможности или невозможности прорывов дается в пределе, когда время стремится к бесконечности. Движение рыхлых пород по рассматриваемой схеме происходит при разработке рудных залежей на первом от поверхности эксплуатационном этаже.

Схема 2 (рис. I.I,б). Подрабатываемые песчано-глинистые отложения имеют небольшую мощность, что определяет малый объем опасных по прорывам пород в воронке обрушения. В рассматриваемом случае объем песчано-глинистых пород полностью расходуется на заполнение пор в породной "подушке". Прорывы песчано-глинистых пород по этой схеме не происходят. Однако при ведении горных работ на втором от поверхнос-

ти и ниже расположенных горизонтах может иметь место засорение добытой руды песчано-глинистыми породами.

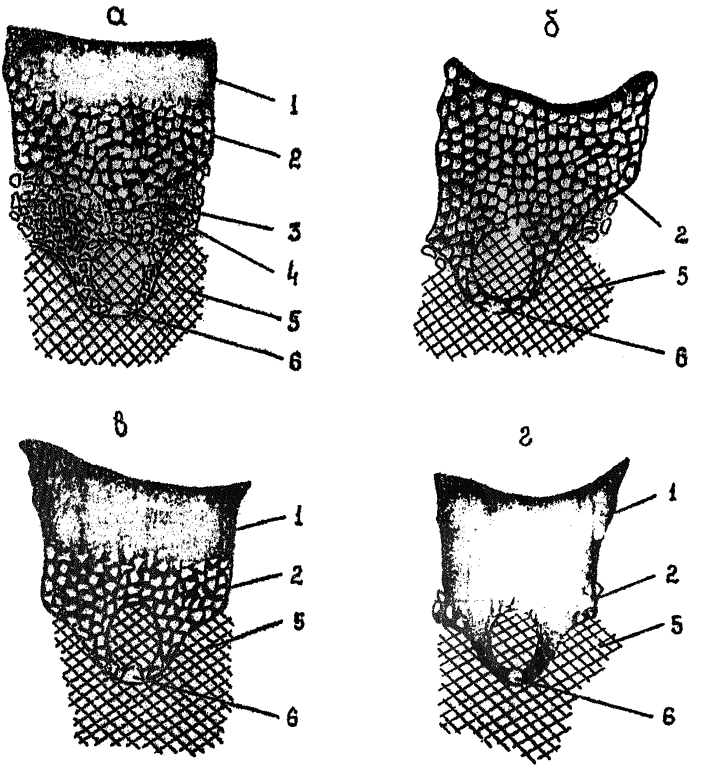


Рис. I.I. Схема движения песчано-глинистых пород в зоне обрушения: I - песчано-глинистые породы; 2 - песчано-глинистые породы, проникшие в породную "подушку"; 3 - контур проникновения песчано-глинистых пород в породную "подушку"; 4 - породная "подушка" ниже контура проникновения песчано-глинистых пород; 5 - руда в массиве; 6 - горная выработка

Схема 3 (рис. I.I, в). Соотношение между реологическими параметрами песчано-глинистых пород, мощностью и проницаемостью породной "подушки" таково, что песчано-глинистые породы в процессе движения

достигают горных выработок. При этих условиях происходит прорыв песчано-глинистых пород. Однако породная "подушка", обладая значительным фильтрационным сопротивлением, предохраняет выработки от крупных катастрофических прорывов. Как правило, при прорывах по рассматриваемой схеме объем вынесенных в горные выработки рыхлых пород не превышает 100 м^3. Прорывы по рассматриваемой схеме происходят при разработке рудных залежей на первом и втором этажах, значительно реже – на последующих.

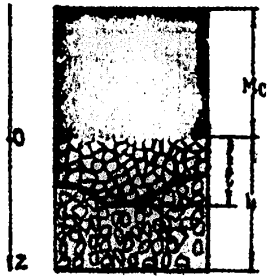
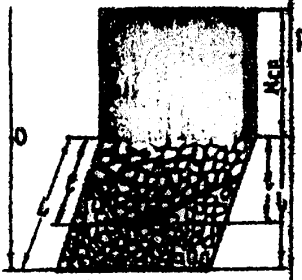
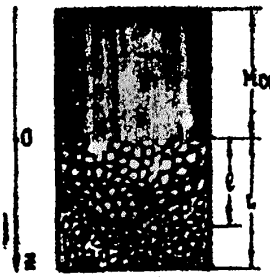
Схема 4 (рис.I.I, г). При разработке железорудных месторождений, для которых характерно крутое падение рудных залежей и устойчивые вмещающие породы, в процессе перепуска ранее обрушенных пород мощность породной "подушки" уменьшается. В результате выпуска руды непосредственно над выпускными отверстиями происходит разрыв сплошности породной "подушки" и песчано-глинистые породы получают непосредственный доступ в горные выработки. Механизм движения песчано-глинистых пород по рассматриваемой схеме отличается от механизма по схемам I, 2, 3, так как их движение подчиняется закону гидравлики неньютоновской жидкости (реологии). Масштабы прорывов по этой схеме определяются реологическими параметрами песчано-глинистых пород и их объемом в воронке обрушения. Как правило, это крупные или катастрофические прорывы с выносом песчано-глинистых пород в горные выработки объемом более 1000 м^3.

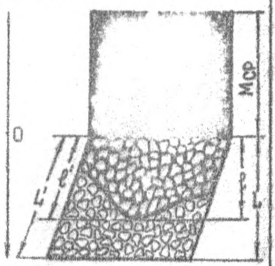
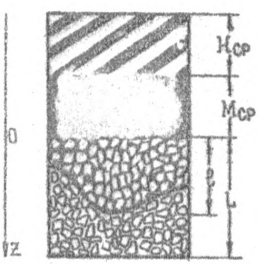
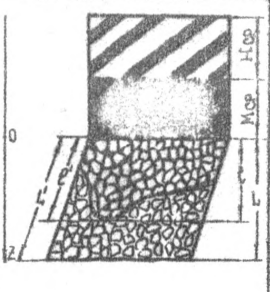
Рассмотренные выше схемы отражают основные стороны процесса формирования прорывов песчано-глинистых пород в горные выработки, а также некоторые существенные факторы (мощность породной "подушки" и уменьшение ее при выпуске руды, реологические параметры песчано-глинистых пород и глубина горизонта разработки рудной залежи), определяющие масштабы прорывов.

2. РАСЧЕТНЫЕ СХЕМЫ И АНАЛИТИЧЕСКИЕ ЗАВИСИМОСТИ ДЛЯ ПРОГНОЗА ПРОРЫВОВ ПЕСЧАНО-ГЛИНИСТЫХ ПОРОД

В физической постановке задача прогноза прорывов сводится к определению пространственного положения глубины проникновения песчано-глинистых пород в зону обрушения в любой заданный момент времени, а также минимальной мощности обрушенных скальных пород, при наличии которой песчано-глинистые породы не достигнут горных выработок и очистного пространства. Приближенно задача может рассматриваться как одномерная, т.е. песчано-глинистые породы движутся только вниз. Расчетные схемы с учетом начальных и граничных условий для решения этих задач представлены в табл. 2.I.

Таблица 2.1

N/пп	Расчетная схема	Граничные условия	Угол формирования зоны обрушения	Примечание
1	2	3	4	5
1		$P(0,t)=\rho g M_{ср}=$ $=const$ $P(\ell,t)=0$	$\omega=90°$	Нет
2		$P(0,t)=\rho g M_{ср}=$ $=const$ $P(\ell,t)=0$	$\omega<90°$	Нет
3 1		$P(0,t)=P_0-\rho g n^2$ $P(\ell,t)=0$	$\omega=90°$	Запасы опасных по прорыву песчано-глинистых пород в зоне обрушения ограничены и по мере их продвижения запасы уменьшаются на величину, пропорциональную $n\cdot\ell$

1	2	3	4	5
4		$P(0,t)=P_0-\rho g n \ell$ $P(\ell,t)=0$	$\omega<90^\circ$	То же
5		$P(0,t)=P_\partial+$ $+P_0-\rho g n \ell$ $P_\partial=\rho g H_{cp}=const$ $P_0=\rho g M_{cp}=const$ $P(\ell,Z)=0$	$\omega=90^\circ$	Только часть разреза представлена опасными по прорывам песчано-глинистыми породами, а расположенные выше осадочные породы создают дополнительное давление на слой, опасный по прорывам
6		$P(0,t)=P_\partial+$ $+P_0-\rho g n \ell$ $P_\partial=\rho g H_{cp}=$ $=const$ $P_0=\rho g M_{cp}=$ $=const$ $P(\ell,t)=0$	$\omega<90^\circ$	То же

Использование реологической модели Шведова-Бингама и теории фильтрации неньютоновской жидкости позволяет описать процесс движения песчано-глинистой массы через обрушенные скальные породы системой из четырех уравнений [6]:

1. Термодинамическое уравнение

$$\rho = const , \tag{2.1}$$

где ρ - плотность песчано-глинистых пород, кг/м^3.

2. Реологическое уравнение состояния

$$\tau_i = \tau_п + \mu_{пл} j , \tag{2.2}$$

где τ_i - интенсивность касательных напряжений, Па; $\mu_{пл}$ - пластическая вязкость, Па·с; j - интенсивность скорости сдвига ($j = \partial Vz/\partial x$ - при движении вдоль оси z в плоскости XZ), с$^{-1}$.

3. Обобщенный на случай движения бингамовского пластика закон Дарси

$$V_z = \begin{cases} 0, & \left|\frac{\partial P}{\partial Z}\right| < \beta_0 \\ -\frac{c}{\mu_{пл}}\left(\frac{\partial P}{\partial Z} \pm \beta_0 - \rho g\right), & \left|\frac{\partial P}{\partial Z}\right| > \beta_0 \end{cases} \tag{2.3}$$

(знак "+" берется при $\partial P/\partial z < 0$, знак "-" при $\partial P/\partial z > 0$), где V_z - скорость фильтрации в направлении оси, м/с; P - гидростатическое давление, Па; C - коэффициент проницаемости обрушенных скальных пород, м^2; β_0 - начальный градиент сдвига, определяется следующей зависимостью:

$$\beta_0 = \frac{2\tau_п}{r_к} , \tag{2.4}$$

где $r_к$ - радиус, представляющий отношение объема бингамовского пластика к смоченной поверхности, м.

4. Уравнение неразрывности

$$\frac{\partial Vz}{\partial Z} = 0 . \tag{2.5}$$

Граничные условия в точке фронта продвижения песчано-глинистых пород в породной "подушке" описываются уравнением

$$n\frac{dl}{dt} = -\frac{c}{\mu_{пл}}\left(\frac{\partial P(l,t)}{\partial Z} \pm J_0\right), \tag{2.6}$$

где $J_0 = \beta_0 - \rho g$.

Уравнения (2.I) – (2.6) совместно с уравнениями, отображающими граничные условия для расчетных схем, приведенных в табл. 2.I, образуют полную систему уравнений неустановившейся фильтрации песчано-глинистых пород через скальные обрушенные породы.

Решение уравнений (2.I)-(2.6) совместно с начальными и граничными условиями для приведенных расчетных схем позволило получить зависимости для прогноза прорывов песчано-глинистых пород в горные выработки (табл. 2.2).

Задача прогнозирования решается графо-аналитическим методом, для чего строят график в координатах $F_0 - \ell$, на котором параллельно оси F_0 проводится линия $\ell = \ell_м$ до пересечения с кривой $\ell(F_0)$. Зависимость $\ell(F_0)$ имеет физический смысл в интервале изменения ℓ от 0 до $\ell_м$.

При отсутствии в зоне обрушения породной "подушки" движение песчано-глинистых пород в ней подчиняется законам гидравлики вязкопластичной жидкости. Представив зону обрушения и горные выработки в виде труб с цилиндрическим сечением, можно определить максимальное расстояние продвижения песчано-глинистой массы по горным выработкам по формуле

$$\ell_м = \frac{\Delta P r}{2\tau_п}, \qquad (2.7)$$

где ΔP – давление на песчано-глинистые породы в зоне обрушения, Па; r – радиус горной выработки, м; $\tau_п$ – предельное напряжение сдвига, Па.

Величина изменения давления в зоне обрушения определяется из уравнения

$$\Delta P = \frac{V - \ell_м S_в}{S} \rho g, \qquad (2.8)$$

где V – объем песчано-глинистых пород в зоне обрушения, $м^3$; $S_в$ – площадь горной выработки, $м^2$; S – площадь зоны обрушения, $м^2$; ρ – плотность песчано-глинистых пород, $кг/м^3$; g – ускорение свободного падения, $м/с^2$.

Подставив уравнение (2.8) в (2.7) и преобразовав его, получим выражение для максимального расстояния продвижения песчано-глинистых пород по горной выработке

$$\ell_м = \frac{P}{\frac{2\tau_п}{r} + \rho g \left(\frac{r}{R}\right)^2}, \qquad (2.9)$$

где P – давление на песчано-глинистые породы в зоне обрушения, Па;

Таблица 2.2

Номер расчетной схемы	Определение максимальной глубины проникания $l_м$, м	Определение безразмерных параметров	Расчетные формулы для получения времени продвижения в безразмерных параметрах	Примечание
1	$l_м = \frac{P_0}{\beta - \rho g}$	$F_0 = \frac{c P_0 t}{n \mu_{пл} L^2}$; $\bar{l}_м = \frac{l_м}{L}$; $\bar{t} = \frac{t}{L}$	$F_0 = \bar{l}_м^2 \left(\ln \frac{\bar{l}_м}{\bar{l}_м - \bar{l}} \right) - \bar{l}_м \bar{l}$	Нет
2	$l_м = \frac{P_0}{\beta_0 - \rho g \sin\omega}$	$F_0 = \frac{c P_0 t}{n \mu_{пл} L^2} \sin\omega$; $\bar{l}_м = \frac{l_м}{L} \sin\omega$; $\bar{t} = \frac{t}{L}$	$F_0 = \bar{l}_м^2 \left(\ln \frac{\bar{l}_м \sin\omega}{\bar{l}_м \sin\omega - \bar{l}} \right) - \frac{\bar{l}_м \bar{l}}{\sin\omega}$	Нет
3	$l_м = \frac{P_0}{\beta_0 - (1-n)\rho g}$	$F_0 = \frac{c P_0 t}{n \mu_{пл} L^2}$; $\bar{l}_м = \frac{l_м}{L} \sin\omega$; $\bar{l} = \frac{l}{L}$	$F_0 = \bar{l}_м^2 \left(\ln \frac{\bar{l}_м}{\bar{l}_м - \bar{l}} \right) - \bar{l}_м \bar{l}$	При условии $\frac{M_{ср}}{n} > l_м$
4	$l_м = \frac{P_0}{\beta_0 - \rho g \sin\omega (1-n)}$	$F_0 = \frac{c (P_д + P_0) t}{n \mu_{пл} L^2}$; $\bar{l}_м = \frac{l_м}{L}$; $\bar{l} = \frac{l}{L}$	$F_0 = \bar{l}_м^2 \left(\ln \frac{\bar{l}_м \sin\omega}{\bar{l}_м \sin\omega - \bar{l}} \right) - \frac{\bar{l}_м \bar{l}}{\sin\omega}$	Нет
5	$l_м = \frac{P_д + P_0}{\beta_0 - (1-n)\rho g}$	$F_0 = \frac{c (P_д + P_0) t}{n \mu_{пл} L^2} \sin\omega$; $\bar{l}_м = \frac{l_м}{L}$; $\bar{l} = \frac{l}{L}$	$F_0 = \bar{l}_м^2 \left(\ln \frac{\bar{l}_м}{\bar{l}_м - \bar{l}} \right) - \bar{l}_м - \bar{l}$	При условии $\frac{M_{ср}}{n} < l_м$, $l_м = l_ф$, где $l_ф$ – фиктивная глубина проникания песчано глинистых пород
6	$l_м = \frac{P_д + P_0}{\beta_0 - \rho g \sin\omega (1-n)}$	$F_0 = \frac{c (P_д + P_0) t}{n \mu_{пл} L^2} \sin\omega$; $\bar{l}_м = \frac{l_м}{L} \sin\omega$; $\bar{l} = \frac{t}{L}$	$F_0 = \bar{l}_м^2 \left(\ln \frac{\bar{l}_м \sin\omega}{\bar{l}_м \sin\omega - \bar{l}} \right) - \frac{\bar{l}_м - \bar{l}}{\sin\omega}$	Нет

R – радиус зоны обрушения, м.

Полученное уравнение (2.9) может быть использовано для определения максимального заполнения песчано-глинистыми породами горных выработок в случае отсутствия породной "подушки" над очистными выработками.

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ ПАРАМЕТРОВ

Основными исходными данными для решения задач прогноза прорывов песчано-глинистых пород в горные выработки являются их реологические параметры (предельное напряжение сдвига $\tau_п$ и пластическая вязкость $\mu_{пл}$), а также пористость $П$, средний радиус каналов $r_к$ и проницаемость C породной "подушки" над очистными выработками.

Из всех существующих приборов, позволяющих определять реологические параметры вязко-пластичных жидкостей, наиболее подходящими являются ротационные вискозиметры. В частности хорошо зарекомендовал себя в подобных исследованиях вискозиметр РВ-8 [4]. Этот прибор позволяет производить измерения вязкости высокодисперсных песчано-глинистых пород в пределах от 5 до 10^6 Па·с и предельного напряжения сдвига от 5 до 10^4 Па. Однако для песчано-глинистых пород, влажность которых ниже влажности их на границе текучести, этот диапазон измерений недостаточен. Для этих целей может быть использован плоско-капиллярный вискозиметр конструкции ИИОГЕМ, верхняя граница измерения вязкости и предельного напряжения сдвига у которого значительно выше.

Для определения характера зависимости реологических параметров от влажности песчано-глинистых пород каждая литологическая разность должна испытываться при 4 – 5 значениях влажности на приборе РВ-8 и 3 – 4 значениях влажности на плоско-капиллярном вискозиметре. Причем для каждой влажности необходимо провести такое количество определений реологических параметров, которое удовлетворяло бы требованиям дальнейшей статистической обработки (не менее 30 опытов).

Испытания должны начинаться на плоско-капиллярном вискозиметре с образцами ненарушенной структуры и при естественной влажности. Затем образцы из одной литологической разности необходимо растереть до очень густой пасты, после чего увлажнять или подсушивать при комнатной температуре до необходимой влажности. Во всех случаях для получения однородной массы с равномерным распределением воды тщательно перемешанную песчано-глинистую породу необходимо вы-

держивать около суток в эксикаторе. Непосредственно перед измерением реологических параметров песчано-глинистая порода перемешивается еще раз и после этого помещается в вискозиметр.

Реологические параметры рассчитываются по следующим зависимостям:

а) при испытании песчано-глинистых пород на приборе РВ-8

$$\tau = K_1 (P - P_0) ; \qquad (3.1)$$

$$\mu = K \frac{P - P_0}{N} ; \qquad (3.2)$$

б) при испытании песчано-глинистых пород на плоско-капиллярном вискозиметре

$$\tau_п = \frac{P_н h}{l_н} ; \qquad (3.3)$$

$$\mu_{пл} = \frac{2 P_н h^3}{3 Q l} - \frac{h^2 \tau_п}{Q} + \frac{\tau_п^3 l^2}{3 P_н^2 Q} . \qquad (3.4)$$

В формулах (3.1) – (3.4) приняты следующие обозначения: μ – коэффициент динамической вязкости, Па·с; τ – напряжение сдвига, Па; $\tau_п$ – предельное напряжение сдвига, Па; $\mu_{пл}$ – коэффициент динамической (пластической) вязкости; K – константа прибора РВ-8 для вязкости; K_1 – константа прибора РВ-8 для предельного напряжения сдвига; P_0 – собственное трение подшипников прибора РВ-8, Па; P – груз, вращающий цилиндр прибора РВ-8, Па; N – число оборотов цилиндра в секунду; Q – единичный объемный расход породы через плоский капилляр, $м^2/с$; l – длина плоского капилляра, м; $l_н$ – глубина продвижения песчано-глинистых пород в плоский капилляр, уравновешенная давлением $P_н$, м; $P_н$ – давление на песчано-глинистую породу в плоско-капиллярном вискозиметре, Па.

В результате проведенных экспериментов строятся графики зависимости: предельного напряжения сдвига и пластической вязкости от влажности ($\tau_п$-W и $\mu_{пл}$-W), напряжения сдвига от вязкости и скорости сдвига (τ-N и τ-μ). Построение графиков τ-N и τ-μ позволяет определить значения предельного напряжения сдвига и пластической вязкости, а графиков $\tau_п$-W и $\mu_{пл}$-W помогает при решении задач прогноза продвижения песчано-глинистых пород в зоне обрушения.

Пористость обрушенных скальных пород, слагающих породную "подушку", можно определить через коэффициент разрыхления горных пород $K_р$. Учитывая, что

$$K_р = \frac{V_1}{V_2}, \qquad (3.5)$$

где V_1 – объем обрушенных скальных пород, м³; V_2 – объем скальных пород до обрушения, м³, можно записать

$$n = \frac{V_1 - V_2}{V_2} = K_р - 1. \qquad (3.6)$$

Для насыщенного потока вязко-пластичной жидкости в пористой среде, по аналогии с гидравлическим радиусом потока в трубах, вводится понятие эффективного радиуса, представляющего собой отношение объема вязко-пластичной жидкости к смоченной поверхности [I]:

$$r_к = \frac{n}{(1-n)M}, \qquad (3.7)$$

где M – удельная поверхность обломков скальных пород.

Удельная поверхность обломков скальных пород может быть определена по зависимости

$$M = \frac{6}{d}, \qquad (3.8)$$

где d – гармоническое средневзвешенное значение диаметра обломков скальных пород. d можно найти из выражения

$$\frac{1}{d} = \sum_{i=1}^{n} \frac{f_i}{d_i}, \qquad (3.9)$$

где f_i – объемная доля скальных обломков размером d_i в породной "подушке"; d_i – диаметр скальных пород i-го размера в породной "подушке", м.

Подставляя уравнения (3.8) и (3.9) в (3.7), получим зависимость для определения среднего радиуса в породной "подушке"

$$r_к = \frac{n}{1-n} \cdot \frac{1}{6\sum_{i=1}^{n} \frac{f_i}{d_i}}. \qquad (3.10)$$

Коэффициент фильтрации обрушенных скальных пород определяется на модернизированном приборе Тима, в котором диаметр цилиндра выби-

рается из расчета, чтобы он был не менее чем в 5-10 раз больше среднего диаметра обломков обрушенной скальной породы. Отбор проб для определения коэффициента фильтрации производится после выпуска руды из дучек на участке горных работ, на котором предполагаются прорывы песчано-глинистых пород. В остальном методика определения коэффициента фильтрации остается стандартной [9]. Необходимо отметить, что в расчетные зависимости для прогноза прорывов входит коэффициент проницаемости, поэтому полученные в результате лабораторных экспериментов коэффициенты фильтрации необходимо пересчитывать в соответствии с зависимостью

$$C = \frac{K}{\rho} \frac{\mu_{ов}}{g}, \qquad (3.11)$$

где C - коэффициент проницаемости, $м^2$; K - коэффициент фильтрации, м/с.

4. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ ПРОРЫВОВ ПЕСЧАНО-ГЛИНИСТЫХ ПОРОД

Необходимость проведения мероприятий, направленных на предотвращение прорывов песчано-глинистых пород в горные выработки, оценивается по результатам прогнозирования этого горно-геологического явления для конкретного месторождения, находящегося на определенной стадии освоения. Оценку возможности прорывов необходимо производить еще на стадии проектирования, для чего в разрезе месторождения нужно выявить наиболее опасные по прорывам песчано-глинистые породы, к которым относятся обводненные легкоподвижные (плывунные) литологические разности, попадающие в прогнозируемый контур развития зоны обрушения. Затем необходимо определить реологические параметры этих литологических разностей и, выбрав одну из расчетных схем, характерную для исследуемого месторождения, рассчитать по приведенным зависимостям глубину возможного продвижения песчано-глинистых пород в зону обрушения.

В том случае, если по результатам прогноза окажется, что разработка месторождения будет сопровождаться прорывами песчано-глинистых пород, необходимо наметить мероприятия по их предотвращению. Способы борьбы с прорывами песчано-глинистых пород приведены в табл. 4.1.

Разработка железорудных месторождений системами с поддержанием выработанного пространства является наиболее надежным методом борь-

Таблица 4.I

Регулируемый фактор	Реализуемый способ
Формирование зоны обрушения	I. Разработка месторождений системами с поддержанием выработанного пространства. 2. Разработка месторождений комбинированными системами
Создание над очистными выработками породной "подушки"	I. Поддержание породной "подушки" расчетной мощности
Предотвращение дополнительного увлажнения песчано-глинистых пород	I. Осушение шахтных полей. 2. Гидрозащита зоны обрушения
Удаление песчано-глинистых пород из воронок обрушения	I. С применением экскавации. 2. С применением направленного взрыва. 3. С перепуском в разгрузочные камеры
Удаление песчано-глинистых пород из предполагаемого контура зоны обрушения	I. Полное удаление опасных по прорывам пород. 2. Частичное удаление опасных по прорывам пород
Изменение реологических параметров	I. Засыпка зоны обрушения скальными породами

бы с прорывами песчано-глинистых пород в горные выработки, но в то же время это и наиболее дорогостоящий метод, поэтому его применение должно обосновываться в каждом случае технико-экономическими расчетами.

Разработка месторождений комбинированными системами оказывается эффективной, когда опасные по прорывам песчано-глинистые породы по площади перекрывают только часть шахтного поля. В этом случае на участке, опасном по прорывам, руды разрабатываются системами с поддержанием выработанного пространства, а на остальных участках системами с обрушением руды и вмещающих пород. Рассматриваемый способ имеет существенные недостатки, основными из которых являются

увеличение себестоимости добытой руды и усложнение технологии добычных работ.

Поддержание породной "подушки" расчетной мощности является достаточно эффективным способом предотвращения прорывов песчано-глинистых пород. Породная "подушка" создается за счет принудительного обрушения вмещающих пород висячего бока. Рассматриваемый способ экономичен. К существенным недостаткам его реализации следует отнести отсутствие надежного метода контроля мощности породной "подушки" над очистным пространством.

Осушение шахтных полей может существенно уменьшить или полностью исключить дополнительное увлажнение песчано-глинистых пород в зоне обрушения. Осушение, как способ борьбы с прорывами, не является радикальным, так как оно уменьшает их масштаб, но не исключает полностью. Как правило, этот способ применяется в качестве вспомогательного в комплексе с другими.

Гидрозащита зоны обрушения существенно уменьшает поступление поверхностных вод в зону обрушения, поэтому это мероприятие, как вспомогательное, проводится в комплексе с другими способами предотвращения прорывов песчано-глинистых пород.

Удаление опасных по прорывам пород из воронок обрушения способами экскавации или направленного взрыва применяется на угольных месторождениях. Возможности использования их на рудных месторождениях весьма проблематичны как по обеспечению безопасных условий реализации, так и по технологии выполнения.

Удаление песчано-глинистых пород в разгрузочные камеры состоит в следующем. Камеры проходят в породах лежачего бока. В кровле камеры оставляется целик, разделяющий ее и выработанное пространство, заполненное опасными по прорыву породами. Далее производится разрушение целика и перепуск песчано-глинистых пород в разгрузочную камеру. Рассматриваемый способ еще не прошел промышленных испытаний.

Полное или частичное удаление песчано-глинистых пород из предполагаемого контура зоны обрушения является радикальным способом предотвращения их прорывов в горные выработки. Однако этот способ имеет недостатки, а его применение - определенные ограничения. Способ должен реализовываться до начала разработки месторождения. Реализация способа сопряжена с большими затратами, так как точное прогнозирование пространственного положения воронок обрушения невозможно, песчано-глинистые породы приходится удалять с больших площадей.

В результате перемешивания скальных и песчано-глинистых пород в

зоне обрушения уменьшается опасность возникновения прорывов. Однако в первый период, когда скальные обломочные породы располагаются над песчано-глинистыми, значительно увеличивается давление на последние, что приводит к увеличению опасности возникновения прорывов. Вследствие разнонаправленного действия способа весьма затруднительной является оценка его результирующего влияния, что ограничивает его применение. Способ засыпки зоны обрушения скальными породами может быть рекомендован как профилактический, т.е. направленный на предотвращение прорывов. Для тех месторождений, на которых прорывы произошли, его реализация или нецелесообразна, или его можно использовать только в комплексе с другими мерами по предотвращению прорывов песчано-глинистых пород.

В последнее время на прорывы песчано-глинистых пород в горные выработки наибольшее влияние стали оказывать техногенные факторы, такие как засыпка воронок обрушения песчано-глинистым материалом, размещение в пределах развития области сдвижения горного массива отвалов, содержащих песчано-глинистый материал, золоотвалов, хвостохранилищ и т.п., а также подработка областью сдвижения подземных и наземных коммуникаций, по которым циркулирует вода.

В связи с изложенным, проектные решения по размещению отвалов пустых пород, а также по сооружению и эксплуатации хвостохранилищ и других водных объектов в развивающейся области сдвижения горного массива должны содержать оценку влияния их на формирование прорывов песчано-глинистых пород в горные выработки.

Выбор того или иного способа борьбы с прорывами песчано-глинистых пород в горные выработки или их комплекса осуществляется в зависимости от конкретных условий и стадий разработки железорудных месторождений, а также с учетом экономической целесообразности применения выбранного способа.

5. ПРИМЕРЫ ПРОГНОЗА ПРОРЫВОВ

Пример I. Северо-Песчанское месторождение. В геологическом строении Северо-Песчанского месторождения принимают участие палеозойские и мезозойские породы кристаллического фундамента и кайнозойские песчано-глинистые отложения осадочного чехла. Железные руды приурочены к породам кристаллического фундамента. Вмещающие породы и руды делятся на устойчивые (магнетитовые руды, мраморизованные известняки), средней устойчивости (порфириты, туфы, скарнированные руды) и неустойчивые (диориты, скарны и туфы в зонах дизъюнктивных нарушений). Глубина залегания железных руд от поверхности более 200 м.

Кайнозойские песчано-глинистые образования представлены аллювиально-делювиальными отложениями - суглинками с включениями щебня и песками. Мощность этих отложений изменяется от 1,0 - 2,0 до 20 - 25 м. Залегают аллювиально-делювиальные отложения на образованиях коры выветривания скальных и полускальных пород, представленных крупными и средней крупности песками, глинами с включением обломков коренных пород. Мощность образований коры выветривания достигает 15,0 м.

В районе Северо-Песчанского месторождения выделены подземные воды четвертичных отложений, трещинно-грунтовые воды зоны региональной трещиноватости палеозойских пород, а также трещинно-жильные воды локальной трещиноватости тех же пород. Подземные воды кристаллического фундамента гидравлически взаимосвязаны и практически образуют один тип трещинных вод, охватывающий весь разрез. Питание подземных вод происходит преимущественно за счет инфильтрации атмосферных осадков, выпадающих на площади развития водовмещающих пород. С началом горных работ и развитием области сдвижения в горном массиве разгрузка подземных вод происходит в горные выработки.

Месторождение разрабатывается системой этажного принудительного обрушения руды глубокими скважинами на зажатую среду. Высота этажа равняется 80 м. В настоящее время добычные работы ведутся на горизонте минус 240 м.

За 14 лет разработки Северо-Песчанского месторождения сформировалась обширная зона обрушения площадью 350 тыс. $м^2$ при глубине 450 м. В процессе формирования области сдвижения происходила подработка песчано-глинистых пород осадочного комплекса, которых поступило в воронку обрушения свыше 7000000 $м^3$.

Анализ физико-механических свойств песчано-глинистых отложений позволил разделить все эти породы (по гранулометрическому и микроагрегатному составу, коэффициенту агрегированности и седиментационному объему) на три группы: пылевато-песчаные; песчаные (элювий порфирита) породы и пески коры выветривания. Полученные реологические кривые (рис. 5.1) позволили определить предельное напряжение сдвига τ_0 и пластическую вязкость $\mu_{пл}$ для выделенных литологических разностей при естественной и повышенной влажности.

Прогноз прорывов проводится при наихудших условиях, т.е. в расчет принимается максимальная мощность песчано-глинистых пород (40 м) с реологическими параметрами, характерными для песчаных пород элювия порфирита (табл. 5.1). Мощность породной "подушки" над очистными выработками принималась равной 200 м, давление на породы - $5,5 \cdot 10^5$ Па, коэффициент разрыхления 1,1, коэффициент проницае-

мости – $4,71 \cdot 10^{-9}$. Зона обрушения формируется под углом 90^{0}.

Таблица 5.I

Характеристика песчаных пород	Реологические параметры	
	Предельные напряжения сдвига $\tau_{п}$, Па	Пластическая вязкость $\mu_{пл}$ Па·с
Для песчаных пород при естественной влажности 28,8%	90,0	2,0
Для песчаных пород при влажности 48,I%	I5,0	0,6

Горно-технические условия разработки Северо-Песчанского месторождения могут быть сведены к расчетной схеме 5. Результаты решения прогнозной задачи показаны на рис.5.2. Максимальная глубина продвижения песчаных пород в породной "подушке" равняется I00 м, т.е.в горные выработки Северо-Песчанского месторождения они не прорвутся.

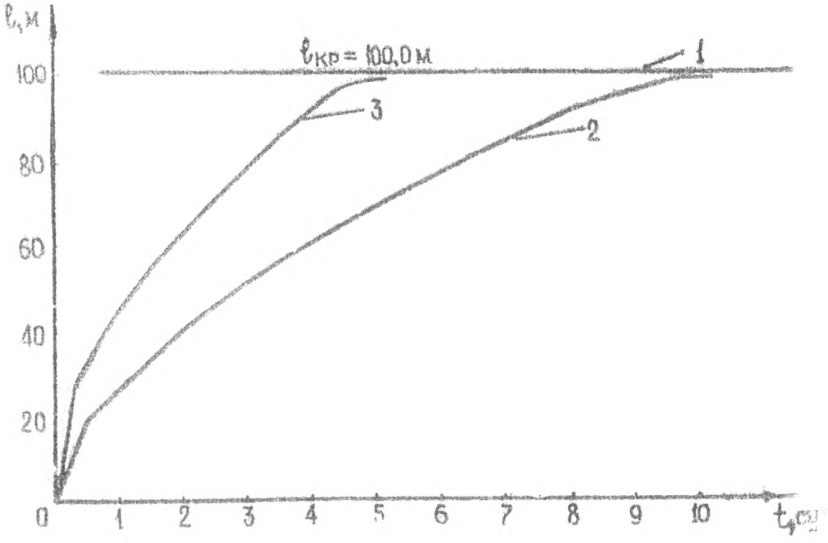


Рис. 5.2. Продвижение песчаных грунтов в скальных породах зоны обрушения Северо-Песчанского месторождения:

I – критическая глубина проникновения грунтов в скальные породы зоны обрушения; 2 – при влажности песчаных грунтов, равной 28,8%; 3 – то же, равной 48,I%

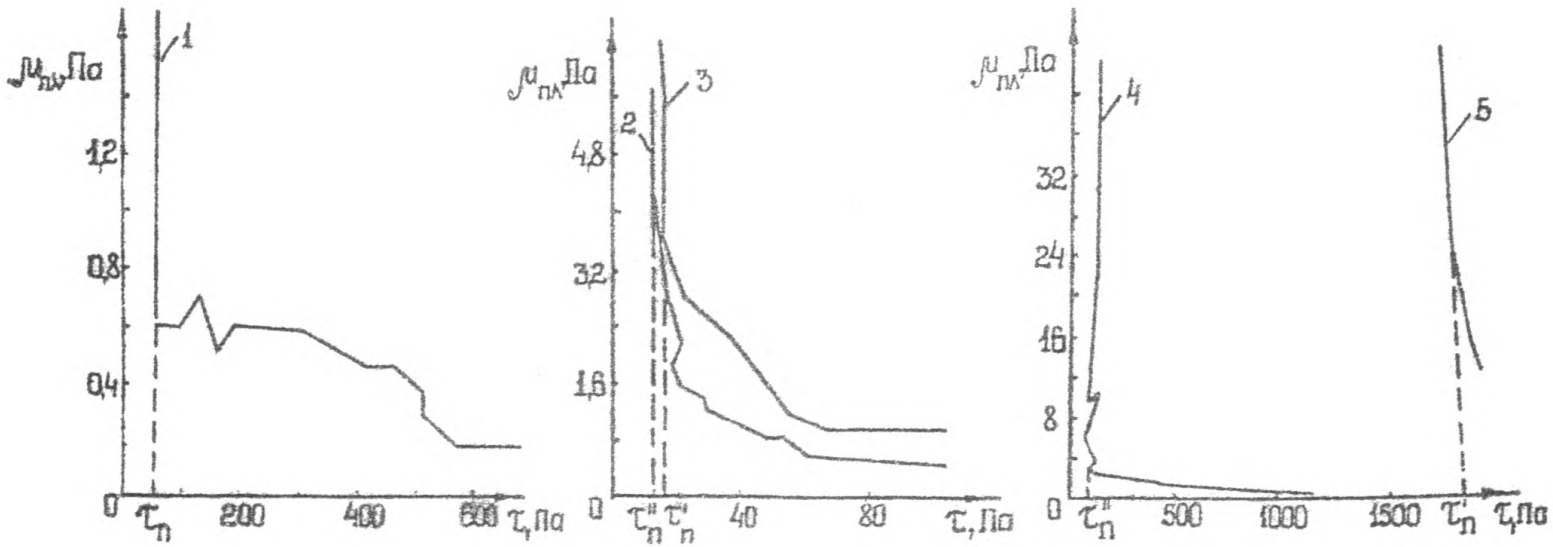


Рис. 5.I. Зависимость динамической вязкости $\mu_{пл}$ от действующего напряжения сдвига τ для песчаных пород Северо-Песчанского месторождения:

I - пылевато-песчаные породы при влажности 49,4%; 3,5 - пески коры выветривания при влажности 32,6% и 23,4% соответственно; 2,4 - песчаные породы (эловий порфирита) при влажности 48,I% и 28,8% соответственно; $\tau_п$, $\tau'_п$, $\tau''_п$ - предельное напряжение сдвига для пылевато-песчаных пород, песков и песчаных пород соответственно

Пример 2. Месторождение РУ им. Р. Люксембург. Горно-геологические условия разработки залежи "Комсомолка" рудника им. Р. Люксембург отличаются от условий Северо-Песчанского месторождения тем, что рудное тело ограничено по простиранию и вмещающими являются крепкие устойчивые скальные породы. В связи с этим в процессе разработки данной залежи системами с обрушением образовалась под углом 60° трубообразная зона обрушения. По данным рудника в 1981 г. в зону обрушения поступило 280600 $м^3$ песчано-глинистых пород.

В 1981 г. при разработке залежи "Комсомолка" произошел прорыв в горные выработки песчано-глинистых пород в объеме 2880 $м^3$.

Произведем обратный расчет прорыва на шах. "Комсомольская". Так как прорыв произошел при отсутствии породной "подушки" над очистными выработками, то расчеты необходимо вести по зависимости (2.9). Расчетные значения параметров, входящих в формулу:

Площадь сечения горной выработки $S_б$, $м^2$ 9,6
Радиус зоны обрушения R, м. 32,6
Высота заполнения зоны обрушения песчано-глинистыми породами H, м. 83,8
Коэффициент разрыхления скальных пород $K_р$ 1,2
Плотность песчано-глинистых пород ρ, $кг/м^3$ . . . 180,6
Предельное напряжение сдвига $\tau_п$, Па 2950

Подставляя значения параметров в формулу (2.9), получим

$$\ell_м = \frac{128454I}{2\,\frac{2950}{1,8} + 1,77\cdot 10^4\,(\frac{1,8}{32,6})} = 385,54\ м\ .$$

Пересчитаем полученные результаты на объем прорвавшихся песчано-глинистых пород, принимая площадь сечения выработок равной 9,6 $м^2$,

$$V = \ell_м \cdot S_б = 385,54 \cdot 9,6 = 3701\ м^3,$$

где V – объем вынесенных в горную выработку песчано-глинистых пород, $м^3$; $S_б$ – площадь поперечного сечения горной выработки, $м^2$.

Относительная погрешность прогноза

$$\Delta V = \frac{V_п - V_ф}{V_ф} = \frac{3701 - 2880}{2880} = 100 = 28,5\%,$$

что приемлемо для инженерных расчетов.

Литература

1. Бер Я., Заславский Д., Ирмей С. Физико-математические основы фильтрации воды. М., Мир, 1971, 451 с.

2. Гавизов М.С., Писарев О.И. О специфических факторах нарушения геологической среды при разработке месторождений системами с обрушением вмещающих пород. В сб.: "Влияние горнодобывающей промышленности на геологическую среду и ее охрана". Пермь, 1981, с. 65-67.

3. Казикаев Д.М. Геомеханические процессы при совместной и повторной разработке руд. М., Недра, 1981, 287 с.

4. Описание инструкции к ротационному вискозиметру РВ-8 системы проф. М.П.Воларовича. М., МИЭМ, 1973, 26 с.

5. Осипенко Ю.С., Писарев О.И. Оценка опасности прорывов увлажненных песчано-глинистых пород в горные выработки. В сб.: "Способы защиты горнорудных предприятий от обводнения". Белгород, ВИОГЕМ, 1981, с. 27-31.

6. Осипенко Ю.С., Писарев О.И. Описание прорывов песчано-глинистых пород на основе теории фильтрации неньютоновских жидкостей. В сб.: "Гидрогеологические расчеты и технические средства осушения месторождений полезных ископаемых". Белгород, ВИОГЕМ, 1983, с. 16-19.

7. Предупреждение прорывов глины в горные выработки. М., Недра, 1972, 184 с. Авт.: А.П.Широков, Ю.Н.Кулаков, Л.М.Синельников и др.

8. Семешин В.В., Приходченко Е.Д., Колодезнев А.С. Подземная разработка железорудных месторождений. Киев, Техника, 1981, 158 с.

9. Чаповский Е.Г. Лабораторные работы по грунтоведению и механике грунтов. Изд. 4-е, М., Недра, 1975, 304 с.

С О Д Е Р Ж А Н И Е

Общие положения 3

I. Механизм прорывов песчано-глинистых пород в горные выработки 4

2. Расчетные схемы и аналитические зависимости для прогноза прорывов песчано-глинистых пород 7

3. Определение расчетных параметров I3

4. Рекомендации по предотвращению прорывов песчано-глинистых пород I6

5. Примеры прогноза прорывов I9

Литература 24

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
ПО ПРОГНОЗУ ПРОРЫВОВ ПЕСЧАНО-ГЛИНИСТЫХ ПОРОД
В ГОРНЫЕ ВЫРАБОТКИ

Научный редактор канд.геол.-мин.наук Г.Н.Гензель
Литературный редактор Л.А. Порубай
Технический редактор А.Г.Воронцова
Корректор М.П. Елисон

Подписано к печати 27 декабря I984 г.
Объем I,5 уч.-изд. л. Тираж 260 экз. Заказ № 37I.
Ротапринт ВИОГЕМ, Белгород, Б.Хмельницкого, 86.
Цена 22 коп.

gost.e-ecolog.ru